

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

REC'D 06 MAY 2005

WIPO

PCT

Absender: INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE

An:

siehe Formular PCT/ISA/220

SCHRIFTLICHER BESCHIED DER  
INTERNATIONALEN  
RECHERCHENBEHÖRDE

(Regel 43bis.1 PCT)

Absendedatum

(Tag/Monat/Jahr) siehe Formular PCT/ISA/210 (Blatt 2)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts  
siehe Formular PCT/ISA/220

WEITERES VORGEHEN

siehe Punkt 2 unten

Internationales Aktenzeichen  
PCT/CH2005/000020

Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)  
17.01.2005

Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)  
19.01.2004

Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK  
H02P6/18

Anmelder  
SAIA-BURGESS MURTEN AG

## 1. Dieser Bescheid enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- ☒ Feld Nr. I Grundlage des Bescheids
- ☒ Feld Nr. II Priorität
- ☐ Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- ☐ Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- ☒ Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Regel 43bis.1(a)(i) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- ☐ Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen
- ☐ Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- ☐ Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

## 2. WEITERES VORGEHEN

Wird ein Antrag auf Internationale vorläufige Prüfung gestellt, so gilt dieser Bescheid als schriftlicher Bescheid der mit der Internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde ("IPEA"); dies trifft nicht zu, wenn der Anmelder eine andere Behörde als diese als IPEA wählt und die gewählte IPEA dem Internationale Büro nach Regel 66.1bis b) mitgeteilt hat, daß schriftliche Bescheide dieser Internationalen Recherchenbehörde nicht anerkannt werden.

Wenn dieser Bescheid wie oben vorgesehen als schriftlicher Bescheid der IPEA gilt, so wird der Anmelder aufgefordert, bei der IPEA vor Ablauf von 3 Monaten ab dem Tag, an dem das Formblatt PCT/ISA/220 abgesandt wurde oder vor Ablauf von 22 Monaten ab dem Prioritätsdatum, je nachdem, welche Frist später abläuft, eine schriftliche Stellungnahme und, wo dies angebracht ist, Änderungen einzureichen.

Weitere Optionen siehe Formblatt PCT/ISA/220.

## 3. Nähere Einzelheiten siehe die Anmerkungen zu Formblatt PCT/ISA/220.

Name und Postanschrift der mit der internationalen  
Recherchenbehörde



Europäisches Patentamt  
D-80293 München  
Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d  
Fax: +49 89 2399 - 4465

Bevollmächtigter Bediensteter

Frapporti, M

Tel. +49 89 2399-2243



---

**Feld Nr. I Grundlage des Bescheids**

---

1. Hinsichtlich der **Sprache** ist der Bescheid auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache erstellt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.
  - ☐ Der Bescheid ist auf der Grundlage einer Übersetzung aus der Originalsprache in die folgende Sprache erstellt worden, bei der es sich um die Sprache der Übersetzung handelt, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (gemäß Regeln 12.3 und 23.1 b)).
2. Hinsichtlich der **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz**, die in der internationalen Anmeldung offenbart würde und für die beanspruchte Erfindung erforderlich ist, ist der Bescheid auf folgender Grundlage erstellt worden:
  - a. Art des Materials
    - ☐ Sequenzprotokoll
    - ☐ Tabelle(n) zum Sequenzprotokoll
  - b. Form des Materials
    - ☐ in schriftlicher Form
    - ☐ in computerlesbarer Form
  - c. Zeitpunkt der Einreichung
    - ☐ in der eingereichten internationalen Anmeldung enthalten
    - ☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht
    - ☐ bei der Behörde nachträglich für die Zwecke der Recherche eingereicht
3. ☐ Wurden mehr als eine Version oder Kopie eines Sequenzprotokolls und/oder einer dazugehörigen Tabelle eingereicht, so sind zusätzlich die erforderlichen Erklärungen, daß die Information in den nachgereichten oder zusätzlichen Kopien mit der Information in der Anmeldung in der eingereichten Fassung übereinstimmt bzw. nicht über sie hinausgeht, vorgelegt worden.
4. Zusätzliche Bemerkungen:

---

**Feld Nr. II Priorität**

---

1. ☐ Die Gültigkeit des Prioritätsanspruchs wurde nicht in Betracht gezogen, da die Internationale Recherchenbehörde über keine Abschrift der früheren Anmeldung oder, falls benötigt, Übersetzung der früheren Anmeldung verfügt. Dieser Bescheid wurde trotzdem unter der Annahme erstellt, dass der maßgebliche Zeitpunkt (Regeln 43*bis*.1 und 64.1) das beanspruchte Prioritätsdatum ist.
2. ☒ Dieser Bescheid ist ohne Berücksichtigung der beanspruchten Priorität erstellt worden, da sich der Prioritätsanspruch als ungültig erwiesen hat (Regeln 43*bis*.1 und 64.1). Für die Zwecke dieses Bescheids gilt daher das vorstehend genannte internationale Anmeldedatum als das maßgebliche Datum.
3. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**siehe Beiblatt**

---

**Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Regel 43*bis*.1(a)(i) hinsichtlich der Neuheit, der  
erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur  
Stützung dieser Feststellung**

---

**1. Feststellung**

Neuheit	Ja: Ansprüche 6,8,10-13,15 Nein: Ansprüche 1-5,7,9,14
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche 10,12,13 Nein: Ansprüche 1-9,11,14,15
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-15 Nein: Ansprüche:

**2. Unterlagen und Erklärungen:**

**siehe Beiblatt**

**Zu Punkt II.**

- 1) Die in Anspruch genommene Priorität (CH0400028) gilt nicht für Gegenstände der Beschreibungsseiten 24 - 31, der Ansprüche 14 und 15 und der Zeichnungen Fig.12 und Fig.13.

**Zu Punkt V.**

- 2) Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:  
D1 : US 4 520 302 A (HILL ROLAND J ET AL) 28. Mai 1985 (1985-05-28)  
D2 : EP 0 151 296 A (BERGER GMBH & CO GERHARD) 14. August 1985 (1985-08-14)  
D3 : US 5 173 650 A (HEDLUND ET AL) 22. Dezember 1992 (1992-12-22)

**3) UNABHÄNGIGER ANSPRUCH 1**

Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 33(1) PCT, weil der Gegenstand des Anspruchs 1 im Sinne von Artikel 33(2) PCT nicht neu ist.

Dokument D1 offenbart (die Verweise in Klammern beziehen sich auf dieses Dokument):

Ein Verfahren zur Kommutierung elektromechanischer, kommutatorloser Aktuatoren, mit einem Rotor und einem Stator mit mindestens einer Statorwicklung (A, B), die mit Konstantstrom (I) betrieben werden, wobei:

- mindestens eine Wicklung (A, B) des Aktuators mit einem Referenzkonstantstrom beaufschlagt wird,
- das Erreichen eines stationären Zustands mit stillstehendem Rotor abgewartet wird,
- ein Wert, der die Spannung repräsentiert, mit der die Wicklung des Aktuators in dem stationären Zustand beaufschlagt ist, als Referenzwert ( $f_{\text{chop}}$ ) für die Kommutierung bestimmt wird (vgl. Spalte 5, Zeilen 33 - 56),
- und während laufendem Motor der Zeitpunkt bestimmt wird, bei dem
  - im Fall des Betriebs mit Referenzkonstantstrom der Referenzwert auftritt oder

- im Fall eines Betriebsstroms, der vom Referenzstrom abweicht, ein aus dem Referenzwert für den aktuellen Betriebsstrom berechneter Kommutierungswert auftritt (vgl. Spalte 6, Zeilen 14 - 54),
- und die Kommutierung eine vorbestimmte Zeitdifferenz, die größer oder gleich Null ist, nach dem Referenzwertauftretszeitpunkt ausgelöst wird, wobei die Zeitdifferenz so gewählt ist, daß ein Polaritätswechsel des Drehmoments des Aktuators im wesentlichen nicht auftritt (vgl. Spalte 7, Zeile 67 - Spalte 8, Zeile 8).

#### UNABHÄNGIGER ANSPRUCH 14

Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 33(1) PCT, weil der Gegenstand des Anspruchs 14 im Sinne von Artikel 33(2) PCT nicht neu ist. Dokument D1 offenbart eine Vorrichtung mit allen in Anspruch 14 enthaltenen Merkmalen und das im Prozessor auszuführende Verfahren.

#### UNABHÄNGIGER ANSPRUCH 15

Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 33(1) PCT, weil der Gegenstand des Anspruchs 15 nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit im Sinne von Artikel 33(3) PCT beruht:

Die Verwendung des aus D1 bekannten Verfahrens für die vibrationsarme Ansteuerung von Servomotoren wird als nicht erfinderisch betrachtet.

#### 4) ABHÄNGIGE ANSPRÜCHE 2-9, 11, 12

Die Ansprüche 2-9, 11, 12 enthalten keine Merkmale, die in Kombination mit den Merkmalen irgendeines Anspruchs, auf den sie sich beziehen, die Erfordernisse des PCT in Bezug auf Neuheit bzw. erfinderische Tätigkeit erfüllen.

Die Merkmale der abhängigen Ansprüche 2 - 5, 7 und 9 sind in Dokument D1 enthalten (vgl. Spalte 4, Zeile 5 - Spalte 8, Zeile 8) und können somit nicht als neu betrachtet werden (Artikels 33 (2) PCT).

Bei den Merkmalen der abhängigen Ansprüche 6, 8 und 11 handelt es sich nur um

einige von mehreren naheliegenden Möglichkeiten, aus denen der Fachmann ohne erfinderisches Zutun den Umständen entsprechend auswählen würde, um die gestellte Aufgabe zu lösen.

Das Merkmal des abhängigen Anspruchs 12, die Eingangsspannung zur Bestimmung der Rotorposition zu messen und nicht als konstant anzunehmen wurde schon für denselben Zweck bei einem ähnlichen Verfahren benutzt, vgl. dazu Dokument D2, insbesondere Spalte 4, Zeilen 3 - 29. Für den Fachmann war es daher naheliegend, dieses Merkmal auch bei einem Verfahren gemäß Dokument D1 mit entsprechender Wirkung anzuwenden und auf diese Weise zu einem Verfahren gemäß dem Anspruch 12 zu gelangen.

**5) ABHÄNGIGE ANSPRÜCHE 10, 13**

Die in den abhängigen Ansprüchen enthaltene Merkmalskombination ist aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch wird sie durch ihn nahegelegt. Die Gründe dafür sind die folgenden:

Die folgende Merkmalskombination ist aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch werden sie durch ihn nahegelegt:

**Merkmalskombination a)**

- Die Merkmale der Ansprüche 1, 4, 5 und 10 oder 1, 4, 12 und 13
- die Kommutierung der Motorwicklung wird in der Nähe des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung vorgenommen (vgl. Seite 3, Zeilen 18 - 23),
- die Back-EMF Spannung wird durch die Ein- und Ausschaltzeiten des Stromes bestimmt.

**Merkmalskombination b)**

- Die Merkmale der Ansprüche 1, 4, 12 und 13
- die Kommutierung der Motorwicklung wird in der Nähe des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung vorgenommen (vgl. Seite 3, Zeilen 18 - 23),
- die Back-EMF Spannung wird durch die Ein- und Ausschaltzeiten des Stromes bestimmt.

Die Gründe dafür sind die folgenden:

In Dokument D1 wird die auftretende BEMF-Spannung vernachlässigt und aus den Ein- und Ausschaltzeiten des Stromes die Wicklungsinduktivität und mit dieser der Kommutierungszeitpunkt bestimmt.

Obwohl ein Fachmann aus D1 den Hinweis bekommt, daß nur unter bestimmten Voraussetzungen die BEMF-Spannung vernachlässigt werden kann und aus D3 bekannt ist die Kommutierung beim Nulldurchgang der BEMF-Spannung vorzunehmen, erhält der Fachmann im Stand der Technik keinen Hinweis, die Summe der Ein- und Ausschaltzeit die für die Kommutierung gelten konstant zu halten, so daß die Einschaltzeit einfach auf andere Betriebsbedingungen umgerechnet werden können (Merkmalskombination a).

Des weiteren erhält der Fachmann im Stand der Technik keinen Hinweis, die Einschaltzeit konstant zu halten, so daß die Ausschaltzeit als Differenz zwischen Schaltzeitsumme und Einschaltzeit bestimmt werden kann (Merkmalskombination b).



PCT/CH 20 05 / 000020

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
CONFÉDÉRATION SUISSE  
SWISS CONFEDERATION

REC'D 24 JAN 2005

WIPO PCT

REC'D 24 JAN 2005

WIPO PCT

### Bescheinigung

Die beiliegenden Akten stimmen überein mit den ursprünglichen Unterlagen der auf den nächsten Seiten bezeichneten, beim unterzeichneten Amt als Anmeldeamt im Sinne von Art. 10 des Vertrages über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT) eingegangenen Patentanmeldung.

### Attestation

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces originales relative à la demande de brevet spécifiée aux pages suivantes, déposées auprès de l'Office soussigné, en tant qu'Office récepteur au sens de l'article 10 du Traité de coopération en matière de brevets (PCT).

### Confirmation

It is hereby confirmed that the attached documents are corresponding with the original pages of the international application, as identified on the following pages, filed under Article 10 of the Patent Cooperation Treaty (PCT) at the receiving office named below.

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Bern, 17. Januar 2005

Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum  
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle  
Swiss Federal Intellectual Property Institute

Patentverfahren  
Administration des brevets  
Patent Administration

Rolf Hofstetter



# Anmeldeamtsexemplar

27045WO-336

1/8

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

0	Vom Anmeldeamt auszufüllen	
0-1	Internationales Aktenzeichen	PCT/CH 2004/00028
0-2	Internationales Anmeldedatum	19. Jan. 2004 ( 19. 01. 2004 )
0-3	Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"	RO/CH - Internationale Anmeldung PCT
0-4	Formular - PCT/RO/101 PCT-Antrag	
0-4-1	erstellt durch Benutzung von	PCT-SAFE [EASY mode] Version 3.50 (Build 0002.150)
0-5	Antragsersuchen Der Unterzeichnete beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird	
0-6	(Vom Anmelder gewähltes) Anmeldeamt	Eidgenössisches Inst. für Geistiges Eigentum (Schweiz) (RO/CH)
0-7	Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts	27045WO-336
I	Bezeichnung der Erfindung	VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KOMMUTIERUNG ELEKTROMECHANISCHER AKTUATOREN
II	Anmelder	
II-1	Diese Person ist	nur Anmelder
II-2	Anmelder für	Alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US
II-4	Name	SAIA-BURGESS MURTEN AG
II-5	Anschrift	Bahnhofstrasse 18 3280 Murten Schweiz
II-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	CH
II-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	CH
II-8	Telefonnr.	++41 26 672 71 11
II-9	Telefaxnr.	++41 26 672 73 33
II-10	E-Mail	---

27045WO-336

2/8

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

III-1	Anmelder und/oder Erfinder	Anmelder und Erfinder
III-1-1	Diese Person ist	Nur US
III-1-2	Anmelder für	BALSIGER, Werner
III-1-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	Schönaustrasse 8
III-1-6	Anschrift	8400 Winterthur
		Schweiz
III-1-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	CH
III-1-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	CH
IV-1	Anwalt oder gemeinsamer Vertreter; oder besondere Zustellanschrift Die unten bezeichnete Person ist/wird hiermit bestellt, um den (die) Anmelder vor den internationalen Behörden zu vertreten, und zwar als:	Anwalt
IV-1-1	Name	AMMANN PATENTANWÄLTE AG BERN
IV-1-2	Anschrift	Herr M. Störzbach
		Schwarztorstrasse 31
		3001 Bern
		Schweiz
IV-1-3	Telefonnr.	++41 31 387 50 50
IV-1-4	Telefaxnr.	++41 31 387 50 51
IV-1-5	E-Mail	mail@ammann-patent.ch
V	BESTIMMUNGEN	
V-1	Die Einreichung dieses Antrags umfaßt gemäß Regel 4.9 Absatz a die Bestimmung aller Vertragsstaaten, für die der PCT am internationalen Anmeldedatum verbindlich ist, und, insoweit verfügbar, für jede Art von Schutzrecht und sowohl für ein regionales als auch für ein nationales Patent.	
VI-1	Priority Claim	KEINE
VII-1	Gewählte internationale Recherchen- behörde	Europäisches Patentamt (EPA) (ISA/EP)

27045WO-336

3/8

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

VIII	Erklärungen	Anzahl der Erklärungen	
VIII-1	Erklärung hinsichtlich der Identität des Erfinders	-	
VIII-2	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, ein Patent zu beantragen und zu erhalten	-	
VIII-3	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen	-	
VIII-4	Erfindererklärung (nur im Hinblick auf die Bestimmung der Vereinigten Staaten von Amerika)	1	
VIII-5	Erklärung hinsichtlich unschädlicher Offenbarungen oder Ausnahmen von der Neuheitsschädlichkeit	-	

27045WO-336

4/8

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

VIII-4-1	<b>Erklärung: Erfindererklärung (nur im Hinblick auf die Bestimmung der Vereinigten Staaten von Amerika)</b> Erfindererklärung (Regeln 4.17(iv) und 51bis.1(a)(iv)) nur im Hinblick auf die Bestimmung der Vereinigten Staaten von Amerika:	<p>Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß ich nach bestem Wissen der ursprüngliche, erste und alleinige Erfinder (falls nachstehend nur ein Erfinder angegeben ist) oder Miterfinder (falls nachstehend mehr als ein Erfinder angegeben ist) des beanspruchten Gegenstandes bin, für den ein Patent beantragt wird.</p> <p>Diese Erklärung wird im Hinblick auf und als Teil dieser internationalen Anmeldung abgegeben (falls die Erklärung zusammen mit der Anmeldung eingereicht wird).</p> <p>Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß mein Wohnsitz, meine Postanschrift und meine Staatsangehörigkeit den unter meinem Namen aufgeführten Angaben entsprechen.</p> <p>Ich bestätige hiermit, daß ich den Inhalt der oben angegebenen internationalen Anmeldung, einschließlich ihrer Ansprüche, durchgesehen und verstanden habe. Ich habe im Antragsformular dieser internationalen Anmeldung gemäß PCT Regel 4.10 sämtliche Auslandsanmeldungen angegeben und habe nachstehend unter der Überschrift "Frühere Anmeldungen" unter Angabe des Aktenzeichens, des Staates oder Mitglieds der Welthandelsorganisation, des Tages, Monats und Jahres der Anmeldung, sämtliche Anmeldungen für ein Patent bzw. eine Erfinderurkunde in einem anderen Staat als den Vereinigten Staaten von Amerika angegeben, einschließlich aller internationalen PCT-Anmeldungen, die wenigstens ein anderes Land als die Vereinigten Staaten von Amerika bestimmen, deren Anmeldetag dem der Anmeldung, für welche Priorität beansprucht wird, vorangeht.</p>
VIII-4-1-1	Frühere Anmeldungen:	

27045WO-336

PCT-ANTRAG

5/8

Original (für EINREICHUNG)

Ich erkenne hiermit meine Pflicht zur Offenbarung jeglicher Informationen an, die nach meinem Wissen zur Prüfung der Patentfähigkeit in Einklang mit Title 37, Code of Federal Regulations, § 1.56 von Belang sind, einschließlich, im Hinblick auf Teilfortsetzungsanmeldungen, Informationen, die im Zeitraum zwischen dem Anmeldetag der früheren Patentanmeldung und dem internationalen PCT-Anmeldedatum der Teilfortsetzungsanmeldung bekannt geworden sind.

Ich erkläre hiermit, daß alle in der vorliegenden Erklärung von mir gemachten Angaben nach bestem Wissen und Gewissen der Wahrheit entsprechen, und ferner, daß ich diese eidesstattliche Erklärung in Kenntnis dessen ablege, daß wissentlich und vorsätzlich falsche Angaben oder dergleichen gemäß § 1001, Title 18 des US-Codes strafbar sind und mit Geldstrafe und/oder Gefängnis bestraft werden können und daß derartige wissentlich und vorsätzlich falsche Angaben die Rechtswirksamkeit der vorliegenden Patentanmeldung oder eines aufgrund deren erteilten Patentbeschlusses gefährden können.

27045WO-336

6/8

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

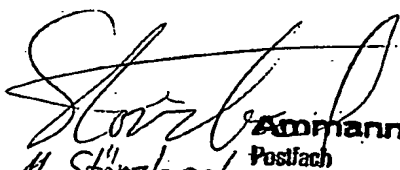
VIII-4-1-1-1	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	BALSIGER, Werner
VIII-4-1-1-2	Sitz oder Wohnsitz (Stadt und jeweils amerikanischer Staat od. Land)	Winterthur, Schweiz
VIII-4-1-1-3	Postanschrift	Schönaustrasse 8 CH-8400 Winterthur Schweiz Winterthur Schweiz
VIII-4-1-1-4	Staatsangehörigkeit	CH
VIII-4-1-1-5	Unterschrift des Erfinders: (falls nicht im Antrag enthalten, oder falls die Erklärung nach der Einreichung dieser internationalen Anmeldung laut der Regel 26ter korrigiert oder hinzugefügt wurde. Die Unterschrift soll nicht des Agenten, sondern des Erfinders sein.)	W. Balsiger
VIII-4-1-1-6	Datum: (einer Unterschrift, die nicht im Antrag enthalten ist, oder einer Erklärung, die laut der Regel 26ter nach der Einreichung der internationalen Anmeldung korrigiert oder hinzugefügt wurde)	

27045WO-336

7/8

## PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

IX	Kontrollliste	Anzahl der Blätter	Elektronische Datei(en) beigelegt
IX-1	Antrag (inklusive Erklärungsblätter)	8	-
IX-2	Beschreibung	24	-
IX-3	Ansprüche	4	-
IX-4	Zusammenfassung	1	✓
IX-5	Zeichnung(en)	5	-
IX-7	INSGESAMT	42	
	Beigelegte Unterlagen	Unterlage(n) in Papierform beigelegt	Elektronische Datei(en) beigelegt
IX-8	Blatt für die Gebührenberechnung	✓	-
IX-9	Original einer gesonderten Vollmacht	✓	-
IX-10	Original einer allgemeinen Vollmacht	✓ <i>Blgt</i>	-
IX-17	PCT-SAFE Datenträger	-	✓
IX-19	Nr. der Abb. der Zeichn., die mit der Zusammenf. veröffentlicht werden soll	4	
IX-20	Sprache der Int. Anmeldung	Deutsch	
X-1	Unterschrift des Anmelders, des Anwalts oder des Gemeinsamen Vertreters	 <b>Ammann Patentanwälte AG Bern</b> Postfach 3001 Bern	
X-1-1	Name (FAMILIENNAME, Vorname)		
X-1-2	Name der unterzeichnenden Person		
X-1-3	Eigenschaft		

## VOM ANMELDEAMT AUSZUFÜLLEN

10-1	Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung	19. Jan. 2004 ( 19. 01. 2004 )
10-2	Zeichnung(en):	
10-2-1	Eingegangen	
10-2-2	<del>Nicht eingegangen</del>	
10-3	Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingeg. Unterlage(n) oder Zeichnung(en) zur Vervollständigung dieser Int. Anmeldung	
10-4	Datum des fristgerechten Eingangs der Berichtigung nach PCT Artikel 11(2)	
10-5	Internationale Recherchenbehörde	ISA/EP
10-6	Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchegebühr aufgeschoben	

27045WO-336

8/8

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG)

VOM INTERNATIONALEN BÜRO AUSZUFÜLLEN

11-1	Datum des Eingangs des Aktenexemplars beim Internationalen Büro	
------	---	--



Verfahren und Vorrichtung zur Kommutierung  
elektromechanischer Aktuatoren

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kommutierung elektromechanischer, kommutatorloser Aktuatoren gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 1 und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.
- 10 Bürstenlose Elektromotoren (allgemeiner: elektromechanische, genauer elektromagnetische Aktuatoren) haben elektronische Schalter (z.B. Transistoren) anstelle von sogenannten Bürsten (mechanischen Kontakte). Diese Schalter dienen zur elektronischen Kommutierung des Motors, d.h. sie legen die
- 15 Richtung des Stromes in den Motorwicklungen in Abhängigkeit der Rotorposition und der gewünschten Drehrichtung fest. Die Rotorposition wird mit magnetischen oder optischen Sensoren gemessen. Sensorlose bürstenlose Elektromotoren verzichten auf Sensoren zur Messung der Rotorposition und schätzen die
- 20 Position des Rotors indirekt über die Messung der Ströme und Spannungen der Motorwicklungen. Dadurch werden die Kosten gesenkt und die Zuverlässigkeit des Motors verbessert. Bürstenlose und sensorlose bürstenlose Elektromotoren gibt es als Permanentmagnet- und Reluktanzmotoren.
- 25 Es existieren verschiedene Verfahren zur sensorlosen Kommutierung von Permanentmagnet- und Reluktanz-Motoren. Eine Gruppe von Verfahren berechnet die Rotorposition aus den Motorspannungen und -strömen mit Hilfe von
- 30 mathematischen Modellen. Diese Verfahren sind sehr aufwendig und daher mit hohen Kosten verbunden: Die Motorspannungen und -ströme müssen gemessen werden, die Parameter des Motors müssen bekannt sein (d.h. diese müssen vorher für jeden

Motortyp gemessen werden oder im Betrieb geschätzt werden) und es müssen mit hoher Geschwindigkeit aufwendige Berechnungen durchgeführt werden.

- 5 Eine andere Gruppe von Verfahren verwendet die Back-EMF Spannung des Motors als Informationsquelle. Dabei wird einerseits die Back-EMF Spannung aus den Motorspannungen und -strömen geschätzt (siehe oben) . Andererseits kann die Back-EMF Spannung bei einer Motorwicklung im stromlosen
- 10 Zustand direkt gemessen werden. Der Nachteil besteht darin, dass diese Motorwicklung, da stromlos, nicht zur Erzeugung von Drehmoment genutzt werden kann, der Motor bei gleicher Auslegung also weniger Drehmoment erzeugt. Dies fällt besonders stark bei Motoren mit wenigen Wicklungen ins
- 15 Gewicht.

- In der US-4520302 beschreiben Acarnley et al. ein Verfahren, bei welchem die Rotorposition über die Messung der Induktivität der Motorspulen geschätzt wird. Diese
- 20 Induktivität wird verändert durch den magnetischen Fluss des Rotors und durch den Strom in der Wicklung selbst. Bei diesem Verfahren werden die Motorwicklungen mit einem getakteten Treiber (Chopper, PWM Driver) angesteuert und die Ein- und Ausschaltzeiten des getakteten Treibers gemessen.
- 25 Die Induktivität errechnet sich aus dem Verhältnis von Stromänderung  $\Delta I$  pro Zeitintervall  $\Delta t$ .

- Der Vorteil liegt darin, dass das Verfahren mit einer reinen Zeitmessung einfach und kostengünstig durchgeführt werden
- 30 kann und dass die Motorenwicklung während der Messung mit dem nominalen Strom durchflossen wird und somit Drehmoment erzeugen kann. Das Verfahren funktioniert auch wenn der Motor stillsteht.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die gegenüber den bereits bekannten Ansätzen eine einfachere und somit kostengünstigere

- 5 Kommutierung bürstenloser elektromechanischer Aktuatoren ermöglichen. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen dieses Verfahrens, eine für dessen Durchführung geeignete Vorrichtung sowie ein bevorzugtes  
10 Anwendungsgebiet sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

- Die Lehre der Erfindung wird im Folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die  
15 Figuren näher erläutert. In der Beschreibung zu den Figuren 1 - 6 wird ein Verfahren vorgestellt, das auf besonders einfache Weise die Detektion des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung ermöglicht. Die Kommutierung der Motorwicklung wird bevorzugt in der Nähe dieses Nulldurchgangs der Back-EMF  
20 Spannung und in gewissen Fällen ein vorgegebenes Zeitintervall nach diesem Nulldurchgang vorgenommen, was nachstehend (ab Gleichung 12) begründet und näher erläutert wird. Diese Erkenntnisse ermöglichen ein besonders einfaches und effizientes Verfahren zur sensorlosen Kommutierung der  
25 Motorwicklung, das schliesslich zu den Figuren 8 - 11 am Beispiel eines Permanentmagnet-Schrittmotors näher beschrieben wird.

Im einzelnen zeigen:

30

Figur 1 Das Schaltbild einer durch einen bipolaren Treiber angesteuerten Motorwicklung,

- Figur 2 den zeitlichen Verlaufs des Stroms in der Motorwicklung von Figur 1,
- 5 Figur 3 den normierten, zeitlichen Verlauf des Stroms in der Motorwicklung und des Schaltverhältnisses (Duty Cycle) beim Einschalten des Stroms,
- 10 Figur 4 die normierten, zeitlichen Verläufe von Wicklungsstrom, Duty Cycle und Back-EMF Spannung in der Anlaufphase des Motors,
- Figur 5 die zeitlichen Verläufe der in Figur 4 dargestellten Grössen, bei übersteuertem Betrieb,
- 15 Figur 6 die zeitlichen Verläufe der in Figur 4 dargestellten Grössen bei fast vollständig übersteuertem Betrieb,
- 20 Figur 7 die Back-EMF Spannung, den Wicklungsstrom und deren Produkt in Funktion der Rotorposition,
- Figur 8 das Schema einer Ansteuerschaltung für einen zweiphasigen Schrittmotor mit sensorloser Ansteuerung,
- 25 Figur 9 die Schaltzustände der getakteten Treiber dieses Schrittmotors bei Betrieb im Vollschrittmodus (2-Phase ON),
- 30 Figur 10 ein Flussdiagramm der Abläufe während eines Anlaufschritts des Motors von Figur 8, und
- Figur 11 ein Flussdiagramm der Abläufe während des ersten Motorschritts.

In Figur 1 ist das Schaltbild einer durch einen bipolaren Treiber angesteuerten Motorwicklung dargestellt. Die Motorwicklung wird durch den Wicklungswiderstand  $R$ , die Wicklungsinduktivität  $L$  und eine Back-EMF Spannungsquelle  $E$  modelliert. Die Back-EMF Spannung wird durch die Änderung des magnetischen Flusses des Rotors induziert. Sie ist im Allgemeinen sinus- oder trapezförmig.

Die Motorwicklung wird durch einen getakteten Treiber angesteuert. In diesem Beispiel handelt es sich um eine H-Brücke oder Bipolaren Treiber, das Verfahren ist jedoch auch mit einem unipolaren Treiber oder einer beliebigen anderen Treiber-Topologie durchführbar.

Die H-Brücke weist vier Schalttransistoren  $S_1 - S_4$  auf, über die die Motorwicklung mit einer Versorgungsspannung  $U_s$  verbindbar ist. Parallel zu den Schalttransistoren  $S_1 - S_4$  sind Freilaufdioden  $D_1 - D_4$  vorgesehen. Werden die Schalttransistoren  $S_1$  und  $S_4$  (resp.  $S_3$  und  $S_2$ ) eingeschaltet, so fließt von  $U_s$  durch  $R$ ,  $L$  und  $E$  ein Strom. Dieser Strom wird in einem Schalttransistor oder in einem in Figur 1 nicht eingezeichneten, zusätzlichen Messwiderstand (Shunt), gemessen.

Bei Erreichen eines nachstehend zu Figur 2 erläuterten, bestimmten Kriteriums wird der Schalttransistor  $S_2$  (resp.  $S_4$ ) ausgeschaltet. Der Strom fließt dann über die Freilaufdiode  $D_3$  (resp.  $D_1$ ) weiter. Bei einem weiteren Kriterium (siehe unten) wird der Schalttransistor wieder eingeschaltet. Alternativ können auch beide Schalttransistoren ausgeschaltet werden. Dann fließt der Strom sog. "regenerativ" zu  $U_s$  zurück. Dies wird hier nicht

weiter ausgeführt, das Verfahren funktioniert jedoch auch in diesem Fall.

Figur 2 zeigt den prinzipiellen Stromverlauf in der  
5 Motorwicklung, der sich durch das Schalten des getakteten Treibers ergibt: Während der Einschaltphase  $T_{ON}$  steigt der Strom (in erster Näherung) linear bis zu einem maximalen Wert  $I_{MAX}$  an. Während der Ausschaltphase  $T_{OFF}$  fällt der Strom auf den minimalen Wert  $I_{MIN}$ . Kriterium für das Ausschalten  
10 des Stroms ist im Allgemeinen das Erreichen des maximalen Stromwertes  $I_{MAX}$ .

Mögliche Kriterien für das (Wieder-)Einschalten des Stromes sind: das Erreichen oder Unterschreiten eines Minimalwerts  
15  $I_{MIN}$  des Stroms; das Erreichen oder Überschreiten einer bestimmten Ausschaltzeit  $T_{OFF}$ ; oder das Erreichen oder Überschreiten der Periodendauer  $T_{ON} + T_{OFF}$ .

Das Ein- und Ausschalten des getakteten Treibers erfolgt mit  
20 einer Frequenz, die deutlich höher ist, als die elektrische oder mechanische Zeitkonstante des Motors. Im Mittelwert stellt sich ein mit guter Näherung konstanter Wicklungsstrom  $I_{PWM}$  ein. Die Welligkeit des Stromes  $\Delta I$  (Rippel) ist klein im Vergleich zur Amplitude  $I_{PWM}$ .

25 Das beschriebene Verfahren hängt grundsätzlich nicht davon ab, wie die Ein- und Ausschaltzeiten erzeugt und stabil gehalten werden. Verschiedene Verfahren sind bekannt und werden in der Literatur beschrieben (z.B. bei Mitchel, DC-DC  
30 Switching Regulator Analysis). Üblicherweise wird bei Erreichen von  $I_{MAX}$  ausgeschaltet und nach Erreichen von  $T_{OFF}$  wieder eingeschaltet. Das Verfahren wird in der Folge für diesen Fall detailliert beschrieben.

Für die Einschaltphase  $T_{ON}$  gilt:

$$U_s = R \cdot I + sL \cdot I + E + 2 \cdot U_{DS} \quad (1)$$

5

Für die Ausschaltphase  $T_{OFF}$  gilt:

$$0 = R \cdot I + sL \cdot I + E + U_{DS} + U_{Diode} \quad (2)$$

- 10 Dabei steht  $U_{DS}$  für die Drain-Source Spannung über einem  
Schalttransistor und  $U_{Diode}$  für die Diodenspannung. Mit dem  
Verfahren „State-Space-Averaging„ (z.B. beschrieben in dem  
bereits zitierten Werk von Mitchel) können die beiden zeit-  
diskreten Zustände (Gleichungen und 2) in eine  
15 kontinuierliche Darstellung (Gleichung 3) überführt werden.  
Werden  $U_{DS}$  und  $U_{Diode}$  in erster Näherung vernachlässigt (oder  
als Widerstände modelliert und zum ohmschen Widerstand  $R$  der  
Motorwicklung gerechnet), so ergibt sich damit:

$$20 \quad d \cdot U_s = R \cdot I + sL \cdot I + E \quad (3)$$

mit

$$25 \quad d = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (4)$$

Das Verhältnis von Einschaltdauer zu gesamter Periode  
(Gleichung 4) wird auch „Duty Cycle„ genannt.

- 30 Wenn der Strom  $I$  konstant gehalten wird,

$$I = I_{PMW} = \text{konstant} \quad (5)$$

dann wird Gleichung 3 zu

$$d \cdot U_s = R \cdot I_{PMW} + E \quad (6)$$

oder

$$E = d \cdot U_s - R \cdot I_{PMW} \quad (7)$$

10

Die Versorgungsspannung  $U_s$  und der Wicklungswiderstand  $R$  sind in vielen Fällen bekannt oder können einfach gemessen werden. Der Strom  $I_{PMW}$  wird gemäss der obigen Annahme durch den getakteten Treiber auf einem bekannten und konstanten Wert gehalten; d.h. der Strom muss nicht gemessen werden. Man erkennt, dass die Wicklungsinduktivität in Gleichung 7 nicht vorkommt und die Messung der Back-EMF Spannung nicht beeinflusst.

15

20 Somit kann die Back-EMF Spannung gemäss Gleichung 7 einzig durch Messung der Ein- und Ausschaltzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  des getakteten Treibers bestimmt werden. In der Praxis liegt die Information, ob der getaktete Treiber ein- oder ausgeschaltet ist, bereits in Form digitaler Signale vor.

25

Die Messung der Ein- und Ausschaltzeiten kann ohne zusätzliche Mess-Sensoren einfach, kostengünstig und sehr genau z.B. durch digitale Schaltungen (Timer) erfolgen.

30

Für die sensorlose Kommutierung von Elektromotoren ist der genaue Wert der Back-EMF Spannung gemäss Gleichung 7 im Allgemeinen nicht notwendig; vielmehr genügt die Kenntnis



des Nulldurchgangs, also wenn die Back-EMF Spannung Null erreicht.

Für  $E = 0$  vereinfacht sich Gleichung 6 bzw. Gleichung 7 zu

5

$$d_0 = \frac{R \cdot I_{PWM}}{U_s} \quad (8)$$

Der mit  $d_0$  bezeichnete Duty Cycle im Nulldurchgang der Back-EMF Spannung kann einfach aus dem Wicklungswiderstand  $R$ , dem  
10 Strom  $I_{PWM}$  und der Versorgungsspannung  $U_s$  berechnet werden. Wenn einer oder mehrere dieser Parameter nicht genau bekannt sind oder sich im Betrieb oder über die Lebensdauer ändern können, dann kann dieser Duty Cycle  $d_0$  auch auf einfache Weise gemessen werden. Im Stillstand des Motors ist die  
15 Back-EMF Spannung  $E$  definitionsgemäss Null. Der Wicklungswiderstand  $R$  und Versorgungsspannung  $U_s$  verändern sich grundsätzlich nicht, wenn der Motor still steht. Der Duty Cycle bei Stillstand des Motors entspricht also  $d_0$ , so dass es genügt, im Stillstand des Motors, z.B. kurz vor dem  
20 Anfahren des Motors, den Duty Cycle zu messen um  $d_0$  zu bestimmen.

Der Duty Cycle gemäss Gleichung 4 errechnet sich aus den Ein- und Ausschnittzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$ . In der Praxis wird  $T_{OFF}$   
25 häufig konstant gehalten, z.B. durch ein Monoflop (Monostabiler Multivibrator), d.h. die einzige variable Grösse ist  $T_{ON}$ . Anstelle des Duty Cycle  $d$  wird  $T_{ON}$  berechnet bzw. gemessen. Gleichung 8 und Gleichung 4 ergeben somit

30

$$T_{ON0} = \frac{R \cdot I_{PWM}}{U_s - R \cdot I_{PWM}} T_{OFF} \quad (9)$$

Im Folgenden ist der Verlauf des Duty Cycle (gemäss Gleichung 6) für verschiedene Back-EMF Spannungen beschrieben. Die Grafiken basieren auf der Simulation eines Motors mit sinusförmiger Back-EMF Spannung. Die Werte von  
5 Strom und Spannung wurden auf 1 bzw. 100% normiert. Die Aussagen sind somit unabhängig von Motorparametern.

Figur 3 zeigt den Verlauf des Wicklungsstromes  $I$  in Funktion der Zeit. Der Strom steigt exponentiell an (L-R Glied) bis  
10 zum Strommaximum  $I_{MAX}$  (100%) Gleichzeitig ist der Duty Cycle  $d$  aufgezeichnet. Während des exponentiellen Stromanstiegs ist der Duty Cycle  $d$  100%, da der getaktete Treiber immer eingeschaltet ist. Sobald der Wicklungsstrom  $I$  den  
15 Maximalwert  $I_{MAX}$  erreicht, beginnt der getaktete Treiber periodisch ein- und auszuschalten. Der Strom hat im Mittel den konstanten Wert  $I_{PWM}$  und hat nun die in Figur 2 dargestellte charakteristische Form.

Die Back-EMF Spannung ist hier noch Null. Der Duty Cycle  $d$   
20 ist während des Einschaltens des Wicklungsstroms immer 100%, daher kann während dieser Phase die Back-EMF Spannung nicht gemessen werden.

Figur 4 zeigt den Verlauf des Wicklungsstromes  $I$  und des  
25 Duty Cycle  $d$  für eine angenommene sinusförmige Back-EMF Spannung  $E$ . Am Anfang ist der exponentielle Anstieg des Wicklungsstromes  $I$  zu sehen, wie oben beschrieben. Danach bleibt der Wicklungsstrom auf dem konstanten Wert  $I_{PWM}$ .  
Während einer ersten Phase (Back-EMF Spannung noch Null)  
30 bleibt der Duty Cycle  $d$  auf einem konstanten Wert (hier ca. 40%). Nach einer Zeit (hier ca. 2ms) beginnt die Back-EMF Spannung  $E$  anzusteigen, während der Wicklungsstrom durch den getakteten Treiber konstant auf  $I_{PWM}$  gehalten wird. Der Duty Cycle steigt hier im gleichen Mass an, wie die Back-EMF

Spannung, was mit Gleichung 6 leicht erklärt bzw. berechnet werden kann.

Bei ca. 7ms erreicht die Back-EMF Spannung E gleichzeitig wie der Duty Cycle d ein Maximum. Anschliessend sinkt die Back-EMF Spannung E wieder und erreicht bei ca. 12 ms den Nulldurchgang. Der Duty Cycle d nimmt ebenfalls ab und erreicht beim Nulldurchgang der Back-EMF Spannung E den gleichen Wert wie bei Stillstand des Motors (d.h. hier wieder ca. 40%)

Damit der getaktete Treiber immer im getakteten Modus arbeiten kann, muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$U_s > R \cdot I_{PWM} + E \quad (10)$$

Falls der getaktete Treiber längere Zeit eingeschaltet bleibt (Duty Cycle immer 100%), wird der nominale Wicklungsstrom u.U. nicht mehr erreicht, die Back-EMF Spannung E kann nicht mehr gemessen werden und die oben aufgeführte Bedingung ist nicht erfüllt. Wir nennen diese Betriebsart "übersteuerter Betrieb".

Figur 5 zeigt den Verlauf im teilweise übersteuerten Betrieb. Im Bereich des Maximums der Back-EMF Spannung wird die Bedingung nach Gleichung 10 verletzt. In diesem Bereich wird der maximale Stromwert  $I_{MAX}$  nicht mehr erreicht, der Wert des Stromes wird alleine durch Wicklungswiderstand und -induktivität und durch die Spannungsdifferenz ( $U_s - E$ ) bestimmt. Die Messung der Back-EMF Spannung E nach Gleichung 7 ist in diesem Bereich nicht mehr möglich, da kein brauchbarer Duty Cycle d gemessen werden kann, bzw. da die Vorbedingung für Gleichung 7, dass der Wicklungsstrom

konstant ist ( $I = \text{konstant}$ ; Gleichung 5) nicht mehr erfüllt ist. Der Nulldurchgang der Back-EMF Spannung  $E$  kann aber dennoch gemessen werden, da die Bedingung nach Gleichung 10 wieder erfüllt ist, wenn die Back-EMF Spannung  $E$  gegen Null  
5 sinkt.

Der Nulldurchgang der Back-EMF Spannung  $E$  kann prinzipiell solange gemessen werden, wie

$$10 \quad U_s > R \cdot I_{PWM} \quad (11)$$

erfüllt ist, d.h. solange die Versorgungsspannung  $U_s$  grösser als der ohmsche Spannungsabfall des nominalen Stromes  $I_{PWM}$  des getakteten Treibers ist.

15 In der Praxis dürfte diese Bedingung (Gleichung 11) bei verschiedensten Motortypen über einen weiten Spannungsbereich erfüllt sein, da der Spannungsabfall  $R \cdot I_{PWM}$  im Vergleich zur Versorgungsspannung  $U_s$  (und zur Back-EMF  
20 Spannung  $E$ ) klein sein dürfte, um den Wirkungsgrad des Motors hoch und bzw. um die thermischen Verluste klein zu halten.

Figur 6 zeigt den Verlauf bei fast vollständig übersteuertem  
25 Betrieb. Die Bedingung nach Gleichung 10 ist fast über den ganzen Bereich nicht erfüllt. Der Wicklungsstrom  $I$  wird nicht durch den getakteten Treiber begrenzt und die Back-EMF Spannung  $E$  kann nicht gemessen werden. Im Bereich des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung  $E$  arbeitet der  
30 getaktete Treiber wieder normal und die Bedingung nach Gleichung 10 bzw. nach Gleichung 11 ist erfüllt, so dass der Nulldurchgang der Back-EMF Spannung  $E$  bestimmt werden kann.

Der Nulldurchgang der Back-EMF Spannung ist dann erreicht, wenn der Duty Cycle  $d$  den Wert  $d_0$  erreicht. Der Wert  $d_0$  wird wie vorstehend beschrieben nach Gleichung 8 berechnet oder bei Motorstillstand gemessen und zwischengespeichert.

5

Der Zeitpunkt für die Kommutierung der Motorwicklung wird bevorzugt in der Nähe des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung gewählt, was im Folgenden begründet und näher erläutert wird:

10

Wie zu Figur 1 erwähnt, wird eine Motorwicklung als Serieschaltung von Wicklungswiderstand  $R$ , Wicklungsinduktivität  $L$  und Back-EMF Spannungsquelle  $E$  modelliert. Induktivität und Back-EMF lassen sich mit Hilfe des Induktionsgesetzes wie folgt herleiten.

15

$$U_s = R \cdot I + \frac{d\psi(\alpha, I)}{dt} \quad (12)$$

$\Psi$  Spulenfluss (Vs)

20

$\alpha$  Rotorwinkel

$$U_s = R \cdot I + \frac{\partial \psi}{\partial I} \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} \cdot \omega = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} + E \quad (13)$$

25

$\omega$  Winkelgeschwindigkeit des Rotors

Die Wicklungsinduktivität  $L$  modelliert die Änderung des Spulenflusses durch den Wicklungsstrom; die Back-EMF Spannung  $E$  wird durch die Änderung des Spulenflusses durch Änderung des Rotorwinkels erzeugt (induziert). Die Summanden obiger Gleichung sind Spannungen. Multipliziert man

30

Gleichung 13 mit dem Wicklungsstrom  $I$ , erhält man für jeden Term eine momentane Leistung.

$$U_s \cdot I = R \cdot I^2 + L \cdot \frac{dI}{dt} \cdot I + E \cdot I \quad (14)$$

5

$U_s \cdot I$  ist die von der Motorwicklung momentan aufgenommene elektrische Leistung;  $R \cdot I^2$  sind die thermischen Verluste und der Term  $L \cdot \frac{dI}{dt} \cdot I$  ist die Blindleistung der Wicklungsinduktivität  $L$ .

10

Der Term  $E \cdot I$  ist die momentan umgewandelte elektromagnetische Leistung. Diese Leistung wird ganz oder teilweise in mechanische Leistung umgewandelt. Der verbleibende Rest sind Verluste oder Leistungen, die im magnetischen Feld zwischengespeichert werden.

15

$$P_{ElMag} = E \cdot I = P_v + P_{Mech} = P_v + M \cdot \omega \quad (15)$$

$M$  Drehmoment (Nm)

20

$P_v$  Verlustleistung/im Magnetfeld gespeicherte Leistung

Unter Vernachlässigung der Verluste  $P_v$  berechnet sich das Drehmoment des Motor  $M$  wie folgt:

25

$$M = \frac{E \cdot I}{\omega} \quad (16)$$

Beim Drehmoment  $M$  gemäss Gleichung 16 handelt es sich um das "innere" Drehmoment, d.h. mechanische Verluste sind nicht berücksichtigt.

- 5 Aus diesem vereinfachten Modell erkennt man, dass das momentane Drehmoment des Motors vom Produkt  $E \cdot I$  (Back-EMF Spannung  $E$  mal Wicklungsstrom  $I$ ) abhängt. Ist dieses Produkt positiv, so ist das momentane Drehmoment auch positiv d.h. „motorisches“ Drehmoment; ist dieses Produkt negativ, so ist  
10 das Drehmoment negativ, d.h. „generatorisches“, oder „bremsendes“ Drehmoment.

- Figur 7 zeigt für einen allgemeinen Fall die Back-EMF, den Strom und das Produkt aus Back-EMF und Strom ( $E \cdot I$ ). Man  
15 erkennt deutlich, dass das Produkt  $E \cdot I$  zeitweise positiv und negativ ist. Der betreffende Motor ist in einem Betriebszustand, in dem beide (motorisches und generatorisches Drehmoment) Zustände vorkommen, d.h. der Rotor wird abwechselnd beschleunigt und gebremst. Dies führt  
20 zu starken Vibrationen des Motors und der mit dem Motor verbundenen Strukturen. Diese Vibrationen können auch zu einem Geräusch bzw. Lärm führen. Um diese Vibrationen zu vermeiden ist es notwendig, dass das Drehmoment  $M$  immer positiv, bzw. immer negativ ist. Dies kann erreicht werden  
25 indem das Produkt  $E \cdot I$  immer positiv (immer negativ) gehalten wird.

- Die Back-EMF Spannung  $E$  hängt von der Rotorposition  $\alpha$  bzw. der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ab. Sie kann somit durch die  
30 Ansteuerung nicht direkt beeinflusst werden. Damit nun das Produkt  $E \cdot I$  immer positiv (immer negativ) gehalten werden kann, kann die Ansteuerschaltung nur den Wicklungsstrom  $I$  direkt beeinflussen. Ideal geschieht dies indem die Richtung des Wicklungsstroms im Nulldurchgang der Back-EMF Spannung  $E$

geändert wird, womit auch das maximale Drehmoment erzeugt wird. Bei gewissen Betriebsarten sind die Wicklungen jedoch zeitweise stromlos und in solchen Fällen ist es mitunter möglich oder angebracht, die Kommutierung ein vorgegebenes  
5 Zeitintervall nach dem Nulldurchgang der Back-EMF Spannung vorzunehmen, ohne dabei gegenläufige Drehmomentimpulse zu erzeugen. Bei realen Motoren muss die elektrische Zeitkonstante der Motorwicklung berücksichtigt werden und die Ansteuerung bereits etwas früher, also in der Regel vor  
10 dem Nulldurchgang der Back-EMF Spannung, geändert werden.

Im Folgenden wird die sensorlose Kommutierung am Beispiel eines Permanent-Schrittmotors mit zwei Phasen näher erläutert.

15 Figur 8 zeigt schematisch eine Schaltung zur sensorlosen Ansteuerung eines solchen Motors. Die Schaltung beinhaltet einen Schrittmotor mit einem Stator mit zwei Wicklungen W1, W2 und einem Permanentmagnet-Rotor, zwei getaktete Treiber  
20 D1, D2 zur Ansteuerung der Motorwicklungen W1, W2, einen Regler 1 für die Kommutierung und einen Regler 2 für Soll-Position und -Drehzahl.

Dem Positions- und Drehzahlregler 2 wird eine Sollposition 3  
25 des Rotors R und die beim Anfahren dieser Sollposition 3 maximal zulässige Drehzahl 4 vorgegeben und der Kommutierungsregler 1 informiert ihn über die aktuelle Rotorposition 5. Aufgrund dieser Daten gibt der Positions- und Drehzahlregler 2 dem Kommutierungsregler 1 die benötigte  
30 Drehrichtung 6 und den benötigten Wicklungsstrom 7 vor. Aufgrund dieser Vorgabe und der aktuellen Rotorposition legt der Kommutierungsregler 1 die Richtungen R1, R2 der Ströme in den Wicklungen W1, W2 fest.



Die Ansteuerung der Wicklungen W1, W2 erfolgt im getakteten Betrieb, wie vorstehend zu den Figuren 1 - 6 beschrieben. Die Treiber D1, D2 erhalten Signale, welche die Höhe und die Richtung des Wicklungsstromes  $I_{PWM}$  festlegen. Die Treiber D1 und D2 liefern je ein Signal 8 (Treiber ON/OFF), welches den Schaltzustand (Ein- oder Ausgeschaltet) des Treibers anzeigt.

- Der Vollschrittmodus verfügt über vier mögliche Zustände.
- 10 Figur 9 zeigt die Kommutierung zwischen den vier Zuständen Z1 - Z4 für die positive Drehrichtung des Motors (CCW, Gegenurzeigersinn). Bei negativer Drehrichtung (CW, Uhrzeigersinn) werden die Zustände in umgekehrter Reihenfolge abgerufen. Die Schritte ST1 - ST4, von einem Zustand
- 15 zum nächsten, erfolgen, wie vorstehend erklärt, idealerweise im Nulldurchgang der Back-EMF Spannung E. Dieser Nulldurchgang wird wie vorstehend zu Gleichung 8 beschrieben erkannt.
- 20 In Figur 10 sind in Form eines Flussdiagramms die während eines Anlaufschritts 10, beim Starten des Motors, zur Vorbereitung der Kommutierungen vorgesehenen Abläufe dargestellt. In einer ersten Phase 11 werden die Treiber D1 und D2 eingeschaltet und die Amplitude des Stroms  $I_{PWM}$  und
- 25 dessen Richtung (positive Richtung in den Spulen W1 und W2) festgelegt.

- Danach wird in einer zweiten Phase 12 der stationäre Zustand abgewartet, d.h. es wird gewartet, bis die elektrischen und
- 30 mechanischen transienten Vorgänge abgeklungen sind. Diese Wartezeit beträgt je nach Motortyp einige Millisekunden bis Zehntelsekunden. An Stelle einer fixen Wartezeit besteht auch die Möglichkeit, während der Wartezeit die Ein- und Ausschaltzeiten ( $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$ ) der Treiber D1 und D2
- 35 periodisch zu messen. Solange transiente Vorgänge andauern,

verändern sich diese Zeiten. Sobald die Ein- und Ausschaltzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  konstante Werte einnehmen, ist der stationäre Zustand erreicht.

- 5 Schliesslich werden in einer dritten Phase 13 im stationären Zustand die Ein- und Ausschaltzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  der Treiber D1 und D2 gemessen und anhand der gemessenen Werte der Duty Cycle  $d_0$  berechnet (Gleichung 4) und gespeichert. Bei konstanter Ausschaltzeit  $T_{OFF}$  kann darauf verzichtet werden, den Duty Cycle zu berechnen. Anstelle des Duty Cycle  $d$  wird dann die Einschaltzeit  $T_{ON}$  als variable Grösse verwendet, wie bereits vorstehend zu Gleichung 9 erwähnt.

- Figur 11 zeigt die bei laufendem Motor vorgesehenen Abläufe in Verbindung mit dem ersten Motorschritt ST1, d.h. dem Schritt von Zustand Z1 zu Zustand Z2 (Figur 9). Der Motorschritt ST1 folgt auf den soeben beschriebenen Anlaufschritt. Dabei wird in einer ersten Phase 14 die Stromrichtung in der Motorwicklung W1 bzw. im Treiber D1 umgekehrt und der Strom  $I_{PWM}$  für die Spule W1 wird neu festgelegt. Danach werden in einer zweiten Phase 15 periodisch die Ein- und Ausschaltzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  von Spule W2 gemessen und der zugehörige Duty Cycle berechnet. Zu Beginn eines Motorschritts steigt  $d$  an und fällt dann wieder ab. Sinkt  $d$  unter den gespeicherten Wert  $d_0$ , so ist der Schritt abgeschlossen. In einer dritten Phase 16 wird danach ein Schrittzähler 17 erhöht (oder bei negativer Drehrichtung erniedrigt). Auch die Dauer des Schrittes kann gemessen werden. Diese Informationen werden von dem überlagerten Positions- und Drehzahlregler 2 (Figur 8) verwendet. Bei Erreichen eines Abbruchkriteriums wird dann gestoppt und andernfalls wird zum nächsten Motorschritt ST2 kommutiert.

- Die Abläufe in Verbindung mit dem zweiten Motorschritt ST2 entsprechen den soeben für Schritt 1 präsentierten, mit zwei

Unterschieden: Das Umkehren der Richtung und das Setzen der Amplitude des Wicklungsstroms wird nicht für Spule W1 sondern für Spule W2 vorgenommen (die Richtung des Stroms in Spule W1 bleibt gleich) und zur Detektion des Endes von Schritt ST2 werden die zur Berechnung des Duty Cycle benötigten Schaltzeiten  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  nicht für Spule W2 sondern für Spule W1 gemessen.

Die darauf folgenden Abläufe für Motorschritt ST3 sind gleich wie jene von Schritt ST1 und die nach dem Motorschritt ST3 folgenden Abläufe für Motorschritt ST4 sind gleich wie jene von Schritt ST2.

Der Kommutierungsregler 1 (Figur 8) liefert dem überlagerten Positions- und Drehzahlregler 2 Informationen über die aktuelle Lage des Rotors (Zustände gemäss Figur 9), den bereits zurückgelegten Weg (Anzahl Schritte im Schrittzähler) und die Drehzahl des Motors.

Der Positions- und Drehzahlregler 2 erhält vom überlagerten Regler die Vorgabe der gewünschten Position (Anzahl Motorschritte relativ zur aktuellen Position). Wenn nötig wird die maximale Drehzahl 4 oder ein bestimmtes Drehzahlprofil vorgegeben. Der Positions- und Drehzahlregler 2 ist in bekannter Weise aufgebaut.

Dieser Regler verwendet den Strom  $I_{PWM}$  als Stellgrösse. Damit ändert sich auch der Wert des Duty Cycle  $d_0$  in Funktion des Stromes  $I_{PWM}$  gemäss Gleichung 8. Daher muss der Duty Cycle  $d_0$  für alle Werte des Stromes  $I_{PWM}$  berechnet oder gemessen werden.

Die Verwendung des Stromes  $I_{PWM}$  als variable Stellgrösse der Positions- und Drehzahlregelung steht im Widerspruch zur

Bedingung, dass dieser Strom konstant gehalten werden muss (Gleichung 5). Dieser Widerspruch kann aufgelöst werden, wenn der Wert von  $I_{PWM}$  für die Dauer eines Schrittes konstant gehalten wird und nur bei der Umkehr der Stromrichtung auf  
5 einen neuen Wert eingestellt wird.

Die Versorgungsspannung  $U_s$  und der Wicklungswiderstand  $R$  beeinflussen die Erkennung des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung  $E$  gemäss Gleichung 8 direkt. Falls sich die  
10 Versorgungsspannung  $U_s$  und der Wicklungswiderstand  $R$  während des Betriebes verändern, so bewirkt dies einen Fehler in der Bestimmung des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung  $E$ . Dies bewirkt einen Fehler im Zeitpunkt der Kommutierung. Dadurch erzeugt der Motor, wie vorstehend zu Figur 7 erläutert,  
15 negative Drehmomentanteile. Dies führt zu einer graduellen Reduktion des Drehmoments und zu einer Abnahme der Drehzahl. Die Abnahme der Drehzahl wird durch den Positions- und Drehzahlregler erkannt und durch einen höheren Motorstrom kompensiert. Beim nächsten Stillstand des Motors wird die  
20 Messung der Ein- und Ausschaltzeiten dann wiederholt und die veränderte Versorgungsspannung und Wicklungswiderstand berücksichtigt..

Die Wicklungsinduktivität hat, wie mit Gleichung 7 gezeigt,  
25 keinen Einfluss auf das beschriebene Verfahren. Die Induktivität wirkt im eingeschwungenen Zustand, wenn der Strom konstant gehalten wird (Gleichung 5), gleichermassen auf die Ein- und Ausschaltzeiten der getakteten Treiber.

30 Die Information der Nulldurchgangs kann dazu verwendet werden, zu erkennen, ob der Motor zu langsam dreht oder blockiert. Wenn der Motor zu langsam dreht, wird dies durch die Drehzahlmessung / Messung der Schrittdauer erkannt.

Zusätzlich kann dies aus dem Verlauf der gemessenen Back-EMF Spannung erkannt werden. Wenn der Motor im Betrieb plötzlich blockiert wird, dann ist die Back-EMF Spannung beider (aller) Motorwicklungen gleichzeitig Null. Dies kann durch  
 5 die Messung der Ein- und Ausschaltzeiten der getakteten Treiber erkannt werden.

Zwei besondere Problemstellungen und geeignete Ansätze für deren Lösung werden im Folgenden noch gesondert dargestellt.  
 10 Die erste betrifft die Wahl der Taktfrequenz des getakteten Treibers, die sich wie folgt darstellen lässt:

$$F = \frac{1 - \frac{R \cdot I + E}{U_s}}{T_{OFF}} \quad (17)$$

15 Diese Frequenz soll ein Minimum nicht unterschreiten (z.B. wegen Geräuschproblemen), sie soll aber auch ein Maximum nicht übersteigen (z.B. um Schaltverluste zu begrenzen). In den Fällen, wo mit konstanter Ausschaltzeit  $T_{OFF}$  gearbeitet wird, kann zur Einstellung der Taktfrequenz  $F$  einzig  $T_{OFF}$   
 20 beeinflusst werden und die Wahl eines optimalen  $T_{OFF}$  schwierig sein. Bevorzugt wird daher ein iteratives Verfahren verwendet, um die Taktfrequenz  $F$  in den gewünschten Bereich zu bringen: Im Stillstand des Motors wird der getaktete Treiber mit einem konstanten Strom  
 25 angesteuert und der stationäre Zustand wird abgewartet. Die Ausschaltzeit  $T_{OFF}$  wird dann leicht variiert und die Frequenz  $F$  wird damit iterativ angenähert. Aus Stabilitätsgründen darf  $T_{OFF}$  nicht schlagartig verändert werden. Da der Vorgang mit der Schaltfrequenz ( $> 20$  kHz) des getakteten Treibers  
 30 abläuft, dürfte dies nur kurze Zeit dauern. Die so

erhaltenen Werte von  $T_{ON}$  und  $T_{OFF}$  werden gespeichert und  $d_0$  berechnet.

Die zweite Problemstellung betrifft die Tatsache, dass sich  
 5 der Duty Cycle beim Nulldurchgang der Back-EMF Spannung  $d_0$   
 (Gleichung 8) in Funktion von  $I_{PWM}$  und  $U_s$  verändert: Bei  
 tiefem Last-Drehmoment ist ein kleiner Strom  $I_{PWM}$  nötig und  
 umgekehrt. Die Versorgungsspannung  $U_s$  kann sich durch  
 externe Faktoren verändern. Wenn z.B. durch eine Messung  
 10 festgestellt wird, dass sich  $U_s$  geändert hat, müsste der  
 Motor gestoppt werden und  $d_0$  im Stillstand neu gemessen  
 werden.

Der Duty Cycle  $d_0$  wird nicht direkt gemessen, sondern wird  
 15 aus den gemessenen Ein- und Ausschaltzeiten  $T_{ON}$  aus  $T_{OFF}$   
 berechnet. Diese Messung gilt dann jeweils für die gewählten  
 Werte von  $I_{PWM}$  und  $U_s$ . Um von einer Messung rechnerisch auf  
 andere Duty Cycle  $d_0$  bzw. Einschaltzeiten  $T_{ON}$  für andere  
 Werte von  $I_{PWM}$  und  $U_s$  zu folgen, sind komplizierte Rechnungen  
 20 nötig (Gleichungen 8 und 9), welche die Rechenkapazitäten  
 eines einfachen Mikroprozessors überschreiten können.

Für die Darstellung der bevorzugten Lösung für dieses  
 Problem nehmen wir zunächst an, dass der Wert von  $F$ , bzw.  
 25 von  $T_{ON} + T_{OFF}$ , in der Folge konstant gehalten werden kann.  
 Unter dieser Voraussetzung gilt für den Duty Cycle:

$$d = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = T_{ON} \cdot F \quad (18)$$

30 Das bedeutet, dass der Duty Cycle  $d$  und  $T_{ON}$  proportional  
 sind.

Das gilt auch für den Duty Cycle  $d_0$  bei  $E=0$ :

$$d_0 = T_{ON0} \cdot F \quad (19)$$

- 5 Für andere Werte von  $I_{PWM}$  oder  $U_s$  ergeben sich andere Werte von  $d_0$ . Für einen um Faktor  $k$  grösseren oder kleineren Strom  $I_{PWM}$  verändert sich der Duty Cycle im Nulldurchgang der Back-EMF Spannung proportional.

$$10 \quad k \cdot d_0 = \frac{R \cdot (k \cdot I_{PWM})}{U_s} \quad \text{und daraus} \quad k \cdot d_0 = k \cdot T_{ON0} \cdot F \quad (20)$$

- D.h. wenn  $T_{ON} + T_{OFF}$  konstant gehalten wird, dann verändert sich  $T_{ON0}$  auch proportional und kann einfach mit einer einzelnen Multiplikation aus dem gespeicherten Wert  
15 berechnet werden.

Um die Bedingung  $T_{ON} + T_{OFF} = K = \text{konstant}$  zu erfüllen, muss  $T_{OFF}$  mit dem oben berechneten  $T_{ON0}$  berechnet werden:

$$20 \quad T_{OFF} = K - T_{ON0} \quad (21)$$

Die Bedingung  $T_{ON} + T_{OFF} = \text{konstant}$  ist dann nur im Bereich des Nulldurchgangs der Back-EMF Spannung gültig. Dies genügt jedoch um diesen Nulldurchgang zu erkennen.

- 25 Um die Berechnung von  $T_{ON0}$  weiter zu vereinfachen, kann beim Einstellen der Frequenz  $F$  des Getakteten Treibers darauf geachtet werden, dass sich ein "Einfacher Wert" für  $T_{ON}$  ergibt. Ein „einfacher Wert“, von  $T_{ON}$  bei 100%  $I_{PWM}$  und  $U_s$  wäre  
30 z.B.  $\frac{1}{500}$  oder ein Vielfaches davon. Die Berechnung von Bruchteilen (oder Vielfachen) von  $T_{ON}$  kann ein Mikroprozessor dann einfach durchführen.

Alternativ kann  $T_{ON}$  bei 100%  $I_{PRM}$  und  $U_s$  auch so eingestellt werden, dass er einem im voraus tabellierten Wert entspricht. Bruchteile von  $T_{ON}$  können dann aus der gleichen  
5 Tabelle gelesen werden.

Besonders vorteilhaft ist die Erfindung für Aktuatoren, d. h. Elektromotoren, mit relativ kleiner Leistung (1 - 10 W). Sie ist auch vorteilhaft einsetzbar für  
10 Aktuatoren mit ein oder zwei Wicklungen, da eine stromlose Windung bei solchen Motoren nur unter starken Einbussen beim Drehmoment, wenn überhaupt, erhältlich ist. Derartige Aktuatoren finden sich z. B. in Fahrzeugen zum Stellen von Lüftungs- und Klimaanlageklappen, aber auch an vielen  
15 anderen Stellen moderner Fahrzeuge.

Ausgehend von dieser Beschreibung sind dem Fachmann weitere Ausführungsformen der Erfindung zugänglich, ohne den durch die Ansprüche definierten Schutzbereich der Erfindung zu  
20 verlassen. Beispielsweise könnte zur Ansteuerung des Motors an Stelle der getakteten Treiber eine geregelte Stromquelle verwendet werden, die einen kontinuierlichen Konstantstrom liefert. Anstelle des Duty Cycle wird in diesem Fall die Spannung an den Wicklungen des Aktuators verwendet.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Kommutierung elektromechanischer, kommutatorloser Aktuatoren, insbesondere von
- 5 Permanentmagnetmotoren und Reluktanzmotoren, mit einem Rotor und einem Stator mit mindestens einer Statorwicklung (W1, W2), die mit Konstantstrom (I) betrieben werden, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 ♦ mindestens eine Wicklung (W1, W2) des Aktuators mit einem Referenzkonstantstrom beaufschlagt wird,
  - ♦ das Erreichen eines stationären Zustands mit stillstehendem Rotor abgewartet wird,
  - ♦ ein Wert, der die Spannung repräsentiert, mit der die Wicklung des Aktuators in dem stationären Zustand
  - 15 beaufschlagt ist, als Referenzwert  $x_{0ref}$  für die Kommutierungsspannung bestimmt wird,
  - ♦ und während laufendem Motor der Zeitpunkt  $T_0$  bestimmt wird, bei dem
    - 20 • im Fall des Betriebs mit dem Referenzkonstantstrom der Referenzwert auftritt oder durchlaufen wird oder
    - im Falle eines Betriebsstroms, der vom Referenzstrom abweicht, ein aus dem Referenzwert für den aktuellen Betriebsstrom berechneter Kommutierungswert auftritt oder durchlaufen wird,
  - 25 ♦ und die Kommutierung eine vorbestimmte Zeitdifferenz, die grösser oder gleich Null ist, nach dem Zeitpunkt  $T_0$  ausgelöst wird, wobei die Zeitdifferenz so gewählt ist, dass ein Polaritätswechsel des Dehmoments des Aktuators im wesentlichen nicht auftritt.
  - 30
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktuator eine oder zwei Wicklungen (W1, W2) aufweist.

3. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdifferenz Null ist.

4. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Konstantstrom ( $I_{PM}$ ) durch wiederholtes Einschalten während einer Zeit  $T_{on}$  und Ausschalten während einer Zeit  $T_{off}$  eingestellt wird, wobei der Referenzwert das Referenzschaltverhältnis  $d_{ref} = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$  oder ein dieses repräsentierender Wert ist.

10

5. Verfahren gemäss Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzwert die Einschaltzeit  $T_{on}$  ist, wobei die Ausschaltzeit  $T_{off}$  konstant ist.

15 6. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der Messung des Referenzwerts alle Wicklungen ( $W1$ ,  $W2$ ) des Aktuators mit dem Konstantstrom beaufschlagt werden und die Referenzwerte für die Wicklungen individuell gemessen werden, um die Kommutierung bei der für die jeweilige Wicklung bestimmten Kommutierungsspannung durchführen zu können.

25 7. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass nach Beaufschlagen mit dem Referenzkonstantstrom eine vorgegebene Zeit  $T_{wait}$  gewartet wird, nach der sich der stationäre Zustand eingestellt.

30 8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass nach Beaufschlagen mit dem Referenzkonstantstrom unter Messung des Referenzwerts gewartet wird, bis sich der Referenzwert eine vorgegebene Zeit lang nicht mehr ändern, um das Eintreten des stationären Zustands zu bestimmen.

9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem vom Referenzstrom  $I_{ref}$  abweichenden Betriebskonstantstrom  $I_s$  der aktuelle Kommutierungswert  $x_0$  aus dem Referenzwert  $x_{0ref}$  mit der Formel:

$$x_0 = x_{0ref} * I_s / I_{ref}$$

berechnet wird.

10. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Summe  $T$  der Ausschaltzeit  $T_{0off}$  und der Einschaltzeit  $T_{0on}$ , die für die Kommutierung gelten, konstant gehalten wird, so dass  $T_{0on}$  proportional zu dem Schaltverhältnis  $d_0$  ist und  $T_{0on}$  einfacher auf andere Betriebsbedingungen, insbesondere Betriebsstrom und/oder -spannung, umrechnen zu können.

11. Verfahren gemäss Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert für  $T_{0on}$  durch Variieren der Summe  $T$  während Messung des Referenzwertes bei stillstehendem Motor auf einen für eine binäre Recheneinheit günstigen Wert eingestellt wird, insbesondere einen Wert nahe des Maximalwerts des Zahlenbereichs der Recheneinheit, und/oder einen Wert nahe einer ganzzahligen Potenz von 2.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass Treiber ( $D1$ ,  $D2$ ) zur Versorgung der Wicklungen ( $W1$ ,  $W2$ ) eines kommutatorlosen, elektromechanischen Aktuators mit Konstantstrom und eine Steuereinheit (1) mit einem digitalen Prozessor und einem Speicher vorhanden sind, die Treiber ( $D1$ ,  $D2$ ) von der Steuereinheit (1) ein Steuersignal erhalten, das den Strom in der zugeordneten Wicklung festlegt, und die Steuereinheit von den Treibern je ein Signal (8) erhält, das ein Mass für an die Wicklung angelegte Spannung ist, wobei im Speicher ein Programm zur

Steuerung des Prozessors abgelegt ist, bei dessen Ausführung durch den Prozessor die Steuereinheit (2) das Verfahren ausführt.

- 5 13. Anwendung des Verfahrens gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11 für die vibrationsarme Ansteuerung von Servomotoren, insbesondere von Servomotoren mit kleiner Leistung, in Fahrzeugen wie Aktuatoren für Lüftungsklappen, Hydraulik, Pneumatik und Scheinwerfer.

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft die Kommutierung elektromechanischer, kommutatorloser Aktuatoren, insbesondere von

- 5 Permanentmagnetmotoren und Reluktanzmotoren, mit einem Rotor und einem Stator mit mindestens einer Statorwicklung ( $W_1$ ,  $W_2$ ), die mit Konstantstrom ( $I_{PWM}$ ) betrieben werden. Das dafür verwendete Verfahren zur Bestimmung des Kommutationszeitpunkts enthält die folgenden Schritte:
- 10 Mindestens eine Wicklung ( $W_1$ ,  $W_2$ ) wird mit einem Referenzkonstantstrom beaufschlagt und bei stillstehendem Rotor wird sodann das Erreichen eines stationären Zustands abgewartet. Danach wird ein Wert, der die Spannung repräsentiert, mit der die Wicklung des Aktuators in dem
- 15 stationären Zustand beaufschlagt ist, als Referenzwert für die Kommutierungsspannung bestimmt. Bei laufendem Motor wird die Kommutierung (falls der Motor mit dem Referenzstrom betrieben wird) ausgelöst, sobald der Referenzwert auftritt, oder eine bestimmte Zeit danach.

20

- - - - -

(Figur 4)

25

1/5

Fig. 1

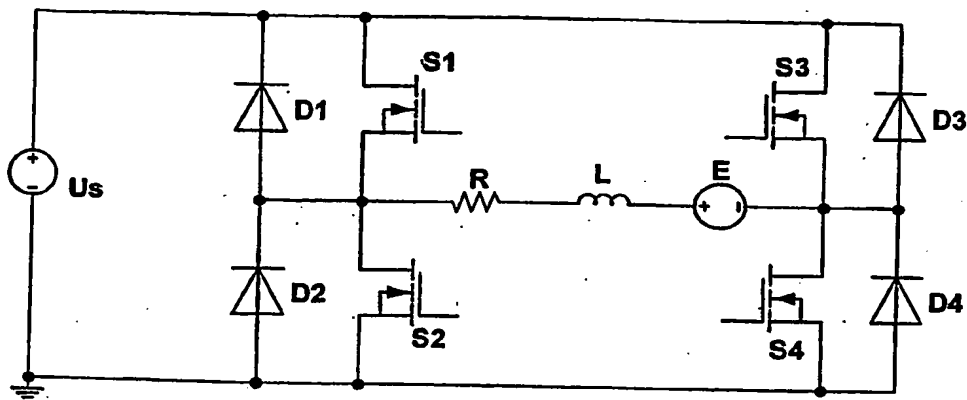


Fig. 2

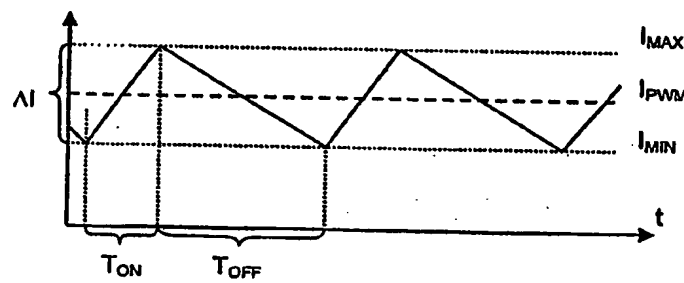
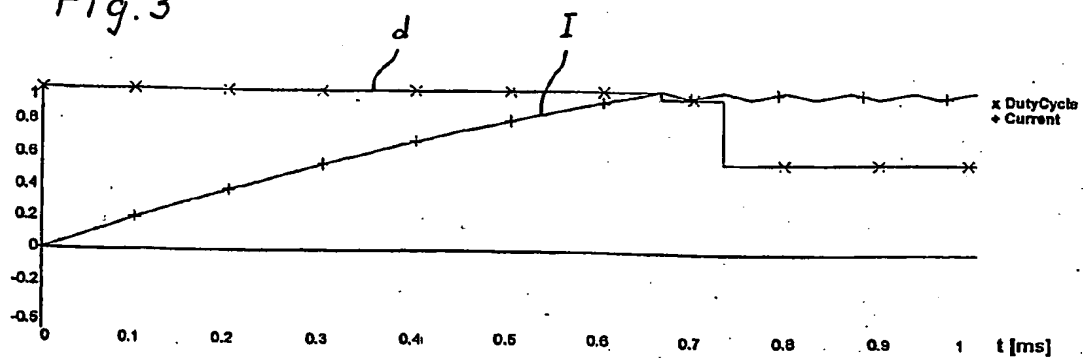


Fig. 3



2/5

Fig. 4

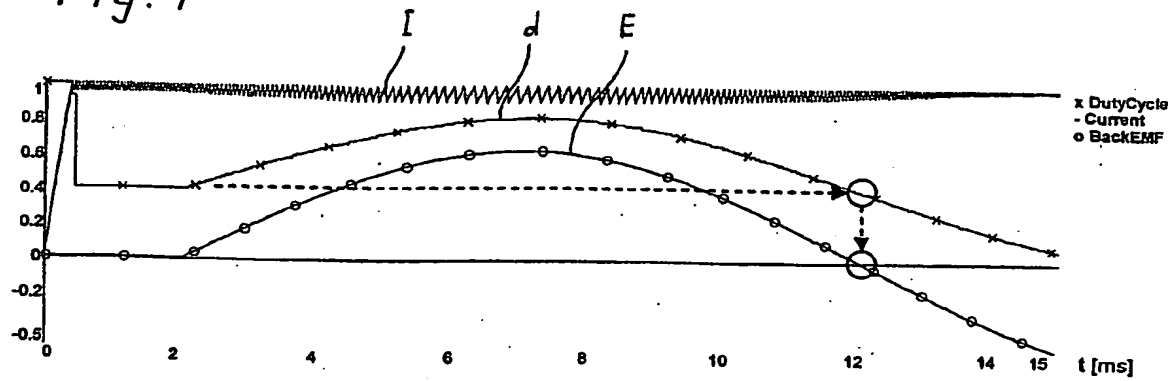


Fig. 5

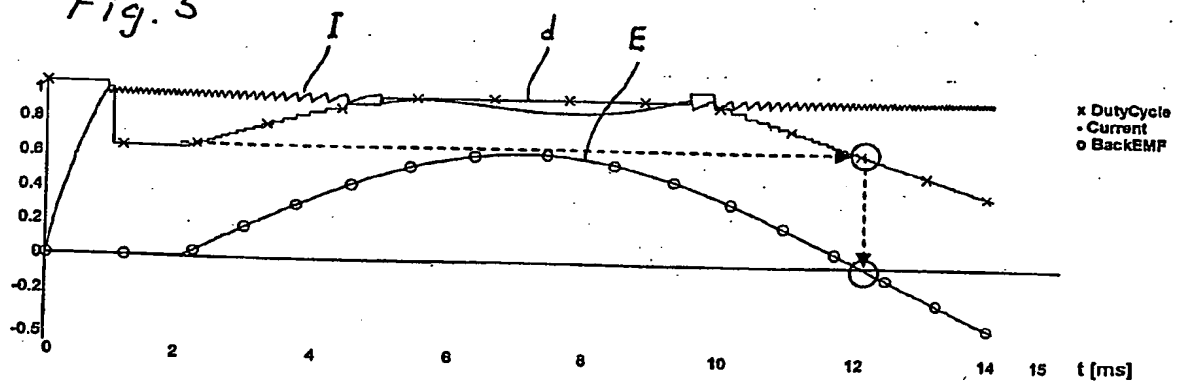
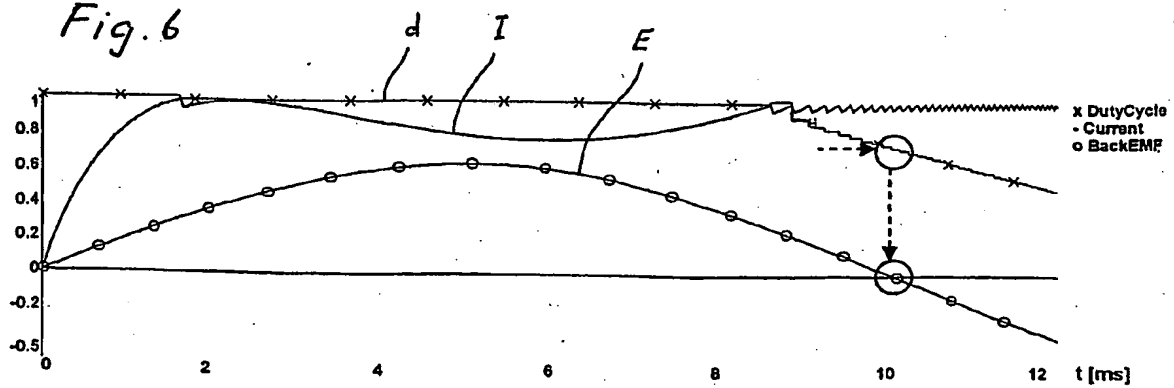


Fig. 6



3/5

Fig. 7

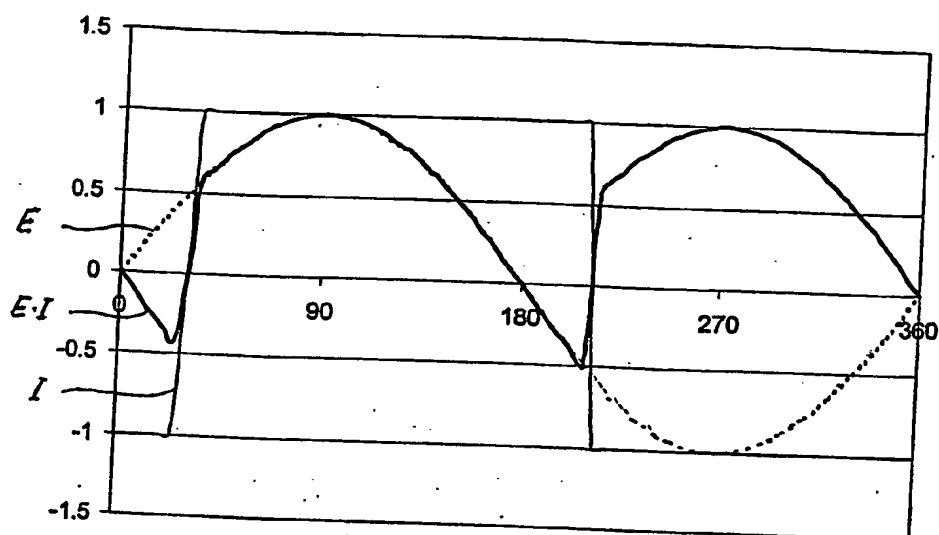
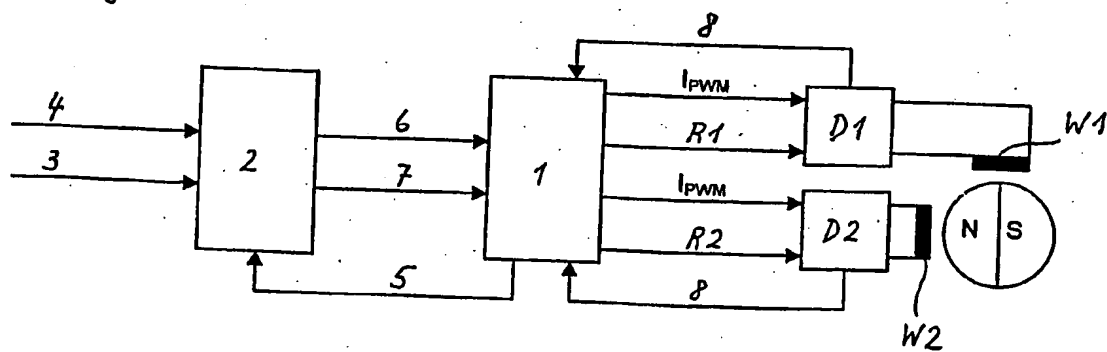


Fig. 8





4/5

Fig. 9

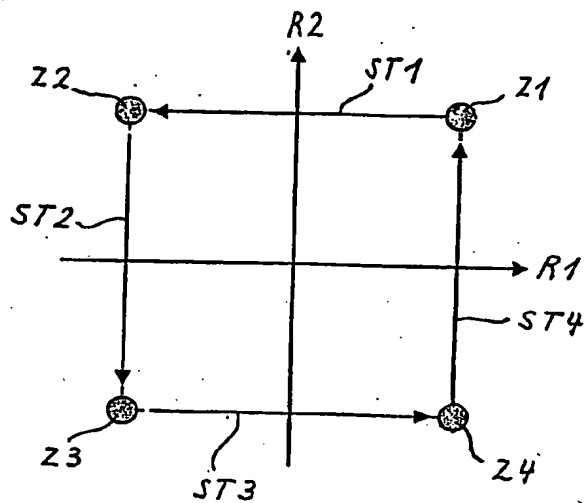
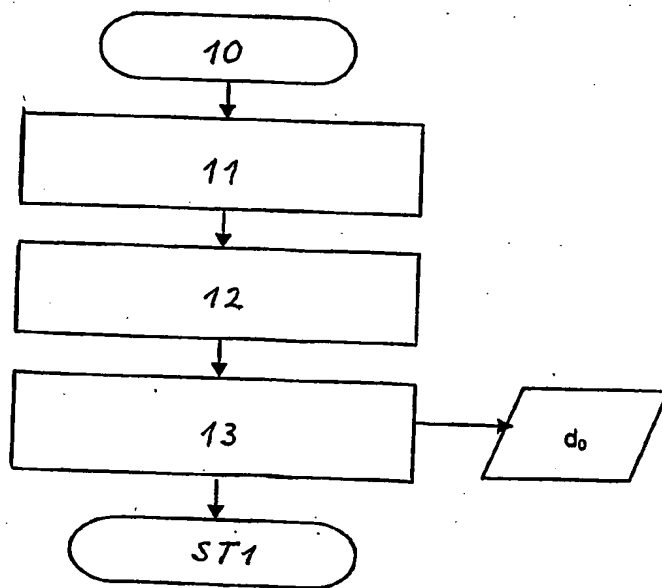


Fig. 10



5/5

Fig. 11

